

# Relación entre el potencial zeta y la deposición en el lavado de impurezas sólidas sobre tejidos de algodón, poliéster y poliéster-algodón tratados con diferentes aprestos (\*)

Dr. J. F. Carrión y Dr. J. Ribé  
Instituto de Investigación Textil y  
Cooperación Industrial de Terrassa.  
Universidad Politécnica de Barcelona

## RESUMEN

La deposición de impurezas sólidas sobre sustratos textiles, en un proceso de lavado, está motivada por acciones de diverso tipo, como puedan ser las mecánicas, químicas, eléctricas y de adsorción.

El fenómeno eléctrico se estudia a través del potencial electrocinético o potencial zeta. Este potencial depende de la superficie de la fibra y del medio polar en que está inmersa. Por ello, se dispusieron tejidos de algodón, poliéster y poliéster-algodón tratados con diversos aprestos. Se efectuaron en tales tejidos pruebas de deposición de negro de humo en presencia de diferentes concentraciones de laurilsulfato sódico, y de este tensioactivo y un electrolito neutro. Se relacionaron los potenciales zeta de los tejidos utilizados con los resultados de la deposición que se obtuvieron.

## RESUME

La déposition d'impuretés solides sur des substrats textiles, dans un processus de lavage, est motivée par des actions de type diverse, tels que mécaniques, chimiques, électriques et d'adsorption.

Le phénomène électrique est étudié à travers le potentiel électrocinétique ou potentiel zéta. Ce potentiel dépend de la surface de la fibre et du milieu polaire dans lequel il est immergé. Pour cela, on a disposé des tissus de coton, polyester et polyester/coton traités avec des apprêts divers. Sur ces tissus on a effectué des essais de déposition de noir de fumée en présence de différentes concentrations de lauryl-sulfate de sodium, ainsi que de ce surfactif et un électrolyte neutre. Les potentiels zéta des tissus utilisés ont été mis en rapport avec les résultats de la déposition obtenus.

(\*) Comunicación presentada a las XII Jornadas del Comité Español de la Detergencia. Barcelona, 25 al 28 febrero 1981.

## SUMMARY

Deposition of solid impurities of textile substrates, in washing, is due to different causes which can be of mechanical, chemical, electrical or adsorption origin.

The electrical phenomenon is studied by the electrokinetic potential or zeta potential. This potential depends on the fibre surface and the polar medium in which is steeped. For this reason, we used cotton, polyester, and polyester-cotton materials, treated with different textile finishing. Deposition trials of carbon black in presence of sodium laurylsulfate at different concentrations, and of this surfactant with neutral electrolyte were carried out. Zeta potentials of the materials used were related to the results obtained in deposition.

### 1. Introducción

Un proceso heterogéneo, como es un lavado, está formado por la fibra y la solución de lavado, conteniendo el detergente, electrolitos y la suciedad. Esta suciedad puede ser de dos tipos; o bien un compuesto sólido constituido por pequeñas partículas, o un componente fluido que será principalmente aceite o grasa. Esta suciedad existente en el baño de lavado, puede presentar el fenómeno de la deposición sobre el sustrato textil. Esto es debido a la existencia de unas fuerzas de diverso tipo, como puedan ser las mecánicas, químicas, eléctricas y de absorción. Si bien en general se tienen unos resultados prácticos sobre la deposición, no existen unos fundamentos teóricos que se adelanten a la práctica. Dada, pues, la carencia de una teoría precisa, resulta compleja su comprensión y se considera como una aplicación particular de la teoría general sobre la estabilidad de coloides de Derjaguin, Landau, Verwey y Overbeek (1) (2). Teniendo en cuenta que en la solución del lavado, la mayor parte de los sustratos textiles y las partículas de suciedad están cargadas negativamente, alrededor de su superficie aparece una doble capa eléctrica, con su correspondiente potencial zeta. Este potencial puede ser medido mediante medidas electrocinéticas, y será de gran utilidad para esclarecer el fenómeno de deposición y llegar a facilitar su estudio de una forma semicuantitativa.

El potencial zeta de la fibra está en función de los siguientes factores:

- a) Superficie de la fibra, según esté modificada física o químicamente.
- b) Medio polar en que está inmersa la fibra, que será variable según la naturaleza de los electrolitos y de los detergentes.

Por todo lo indicado el objetivo de este trabajo es el de relacionar las pruebas de deposición con los potenciales zeta. Con este objeto, se dispusieron tejidos de algodón, poliéster y poliéster-algodón sin tratar y tratados con diferentes aprestos. Se efectuaron pruebas de deposición de negro de humo, en presencia de diferentes concentraciones de laurilsulfato sódico, y de este tensioactivo y cloruro sódico. Se midieron los potenciales zeta de los tejidos a emplear en las pruebas de deposición en las mismas condiciones iónicas que en el lavado.

## 2. Parte teórica

La carga eléctrica que adquiere una fibra o impureza al ponerse en contacto con un medio polar, depende de los siguientes factores (3): a) La ionización de la superficie del sólido. b) La adsorción de iones positivos o negativos de carga opuesta a la superficie. c) Los iones de la disolución polar. Teniendo en cuenta que los iones de carga opuesta serán atraídos y los iones del mismo signo serán repelidos, llegará a formarse una doble capa eléctrica alrededor de la superficie de la fibra o de la impureza en el equilibrio dinámico que se establezca, bajo la influencia de las fuerzas electrostáticas y térmicas existentes en el medio acuoso. Según los modelos aparecidos de la constitución de la doble capa eléctrica, se puede indicar lo siguiente (Fig. 1):

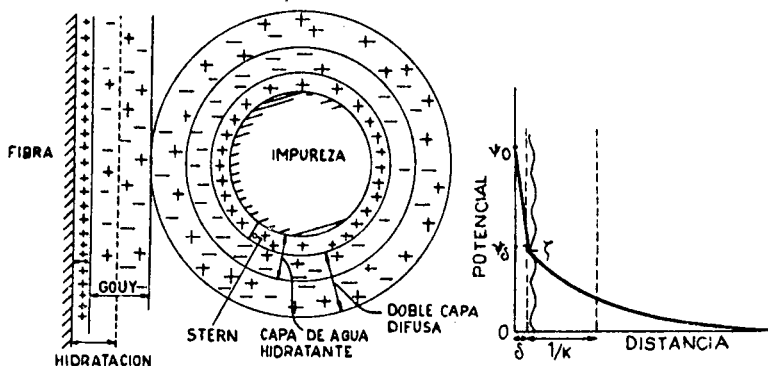


Fig. 1. Doble capa eléctrica para la fibra e impureza y distribución de los potenciales.

Adheridos a la superficie de la fibra o impureza se encuentran los iones de carga opuesta a la superficie, convenientemente hidratados, absorbidos mediante fuerzas electrostáticas o de Van Waals superando incluso la agitación térmica. Junto a ellos existe otra capa, la difusa de Gouy-Chapman, en la que coexisten iones de signos opuestos, pero con predominio de los de signo contrario a la superficie del sólido cuanto más pequeña es la distancia a éste (3). Esta capa se termina en donde la concentración de los iones en su interior es igual a la de la solución. Tal como se indican en la Figura 1, caben señalar los potenciales siguientes: ( $\psi_0$ ) potencial de superficie, ( $\psi_\delta$ ) potencial en el plano de Stern y ( $\xi$ ) potencial zeta que es la diferencia de potencial entre el extremo de la capa de Stern y cualquier otro punto de la solución de electrolito. Este potencial puede ser determinado experimentalmente por los métodos electrocinéticos adecuados.

Para la caracterización del potencial zeta de las materias fibrosas se ha empleado el método del potencial de flujo (4). El potencial zeta se calculó empleando la ecuación de Helmholtz-Smoluchwsky (5) siguiente:

$$\xi = 6,75 \cdot 10^7 \frac{4 \cdot \pi \cdot \eta \cdot \kappa \cdot \Delta V}{\epsilon \cdot P}$$

Siendo  $P$  la presión, en cm. de Hg, necesaria para conseguir el flujo de fluido a través de la célula.

$\Delta V$  El potencial medido en mV.

$\kappa$  Conductividad específica del electrolito en S/cm.

$\epsilon$  Constante dieléctrica de la solución.

$\eta$  La viscosidad del fluido en poises.

### 3. Parte experimental

#### 3.1. Materiales

##### 3.1.1. Tejidos

Fueron empleados los siguientes tipos de tejidos Empa:

Algodón «Style 400» blanqueado de  $80 \times 80$ .

Poliéster «Style 767», Dacron 100 % tipo 54.

Poliéster/Algodón 65/35, (213) de 80 cm. ancho y 165 g/m<sup>2</sup>.

En los indicados tejidos se aseguró su limpieza mediante una extracción de shoxlet durante 24 horas en una mezcla de disolventes compuesta por etanol y benceno en la proporción 2:1 (mezcla azeotrópica). Lavándose a continuación con agua bidestilada.

##### 3.1.2. Productos químicos.

Se emplearon el lauril sulfato sódico y el Na Cl, en la forma de reactivos químicos para análisis.

Se utilizó el negro de humo Raven 1040, de la Firma Columbian con un diámetro de partícula de 29 m $\mu$  con una área superficial de 85 m<sup>2</sup>/g, según catálogo. Para su utilización en los lavados se empleó dispersado convenientemente en alcohol isopropílico con ayuda de un vibroagitador.

##### 3.1.3. Aprestos

Se realizaron los siguientes aprestos:

a) Aplicación de una resina de tipo reticulante. Se empleó en Fixapret CPN (BASF) que es la Dimetilol 4,5 dihidroxi etilen urea (45 %). Se prepararon 100 g/l. de esta resina, junto con 15 g/l. de cloruro magnésico. Se escurrió el género en foulard al 90 %, se secó a 110° C y se pasó por el Rame durante 2 minutos a 160° C.

b) Aplicación de un hidrofugante resistente al lavado. Se empleó el Persistol HP (BASF) que es una N-metilol úrea con un ácido graso superior. Este producto se empleó a la concentración de 100 g/l., junto con 3,5 g/l. de sulfato de aluminio. Se escurrió el género al 90 %, se secó a 110° C y se pasó por el Rame durante 1 minuto a 160° C.

c) Aplicación de una silicona elastomérica. Fue empleado el producto Ultratex FSA (Ciba-Geigy). Este producto fue aplicado en la concentración de 40 g/l. junto con los productos Phobaton WS, 8 g/l. catalizador Dicrylan W, 4 g/l. y 1 ml/l. de ácido acético 80 %. Se pasó por el foulard con 80 %, se secó a 110° C. Se pasó por último por el Rame, de la forma siguiente: Algodón 3 min. a 145° C, Poliéster 90 seg. 160° C y Poliéster/Algodón 4 a 5 min. a 155° C.

### 3.2. Aparatos

En los procesos de lavado se utilizó el «Launder-Ometer». Los grados de ensuciamiento de los tejidos, se determinaron a partir de las reflectancias obtenidas mediante el colorímetro Elrepho de Carl Zeiss.

Las medidas del potencial zeta se efectuaron con un aparato según el esquema siguiente:

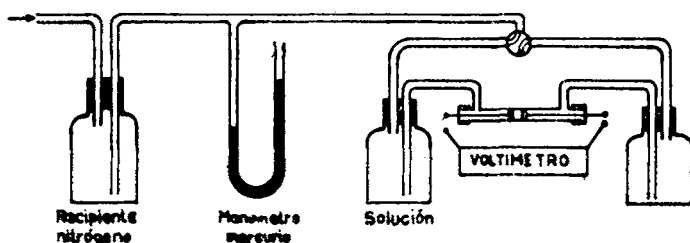


Fig. 2. Esquema del aparato utilizado.

a) Una célula que estuvo constituida por un tubo de vidrio de 12 mm. de diámetro que contenía dos electrodos de Ag-AgCl, separados a una distancia de 1 cm. Entre los electrodos fue colocado el tejido.

b) La disolución dispuesta para circular por la célula se colocó en un recipiente de vidrio de 3 litros de capacidad. Se aplicó una presión estática de nitrógeno variable y se obtuvieron los diferentes flujos por la altura barométrica de mercurio.

c) La diferencia de potencial entre los electrodos fue medida por un pH/mV-metro marca Digilab-517 de Crison, de una exactitud de 0,1 mV.

d) La conductividad de la disolución fue determinada con un conductímetro Radiometer tipo CDM 2 e, la célula de conductividad fue de 1 cm<sup>-1</sup> a 20°C.

### 3.3. Procedimientos

3.3.1. Pruebas de deposición: Se efectuaron según la norma ISO 105-CO6/DAD 1. Las muestras de tejido fueron de 10 × 4,5 cm. La temperatura de lavado fue de 60°C. El tiempo de ½ hora y fueron empleadas 25 bolas de acero para la agitación. El baño fue de 50 ml. y se introdujo 1 mg. de negro de humo dispersado en alcohol isopropílico.

3.3.2. Medida del grado de ensuciamiento relativo al tejido inicial: Fue determinado el grado de ensuciamiento con la fórmula de Florio y Merse-  
rau (6) a partir de los valores triestímulos obtenidos con las reflectancias medidas en el tejido. La fórmula es la siguiente:

$$\Delta C = \left( (X_s - X_p)^2 + (Y_s - Y_p)^2 + (Z_s - Z_p)^2 \right)^{1/2}$$

siendo  $X_p$ ,  $Y_p$  y  $Z_p$  los valores triestímulos de la muestra blanca antes de los lavados y  $X_s$ ,  $Y_s$ ,  $Z_s$  los valores triestímulos de la muestra una vez efectuada la deposición o ensuciamiento. Estos, fueron promedio de cuatro determinaciones.

3.3.3. Medida del potencial zeta: El potencial zeta se determinó a  $20^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ , aplicando la ecuación de Helmholtz-Smoluchwsky citada en el apartado 2. La manipulación del aparato (Fig. 2) fue de la misma forma que se indicó en otro trabajo anterior (4), teniendo en cuenta que las probetas de tejido se prepararon con 40 discos del tejido de igual diámetro de la célula, ambientados previamente en la solución de medida.

#### 3.4. Pruebas realizadas

a) Ensayos de deposición: La deposición de negro de humo, sobre tejidos en ensayos de lavado, fue realizada en presencia de diferentes concentraciones de lauril sulfato sódico. Los tejidos fueron de algodón, poliéster y poliéster-algodón con y sin apresto. Además, se obtuvieron deposiciones sobre tales tejidos utilizando una concentración de electrolito y dos concentraciones de laurilsulfato sódico.

b) Mediciones de potenciales zeta: Se efectuaron mediciones de los potenciales zeta de los tejidos con y sin apresto, antes de las pruebas de deposición y en las mismas condiciones iónicas que en los lavados.

### 4. Resultados

#### 4.1. Relación entre el grado de ensuciamiento y la cantidad de negro de humo que se depositó sobre los tejidos utilizados.

A partir de muestras de algodón, poliéster y poliéster-algodón, aprestadas con el Persistol HP, ya que fue el apresto con el que se obtuvieron mayores valores de deposición, se obtuvo un escalonado de diferentes cantidades conocidas de negro de humo. Para lograr esto, varias muestras se sometieron a las condiciones de lavado indicadas en el apartado 3.3.1., en presencia de  $10^{-3}\text{M}$  de laurilsulfato sódico, durante el tiempo de lavado suficiente hasta obtener un agotamiento total en el baño de lavado. En estas muestras, fueron determinados los respectivos grados de ensuciamiento con la indicada fórmula de Florio y Merserau (6), y se les encontró una relación lineal con el logaritmo de la cantidad de negro de humo depositada. Las rectas de ajuste de estas linealidades se exponen en la Tabla I.

**TABLA I**

**Rectas de ajuste entre los grados de ensuciamiento ( $\Delta\text{C}$ ) y el logaritmo de la concentración de humo.**

<i>Tejidos aprestados</i> <i>Persistol HP</i>	<i>Rectas de ajuste</i>	<i>correlación</i> <i>Coef.</i>
Algodón	$\Delta\text{C} = 35,1734.\log c + 160,02$	0,997
Poliéster	$\Delta\text{C} = 39,7782.\log c + 166,67$	0,994
Poli-Algodón	$\Delta\text{C} = 45,5163.\log c + 184,1$	0,995

#### 4.2. Cálculo del error del potencial zeta.

Se escogieron al azar tres determinaciones, de las que se tenían programadas. Se repitieron seis veces las mismas mediciones de potencial zeta en

días diferentes. Los resultados que se obtuvieron se exponen en la Tabla II siguiente:

**TABLA II**  
**Media e intervalo de confianza del valor medio de potenciales zeta**

<i>Lauril sulfato sódico mol/l</i>	<i>Na Cl mol/l.</i>	<i>Alcohol isopropílico ml/l.</i>	<i>Tejido</i>	<i>Media e inter- valo confian- za del valor medio en mV</i>
$1,6 \cdot 10^{-3}$	$10^{-3}$	20	Pol.-Algo.	$32,5 \pm 1,7$
$1,6 \cdot 10^{-3}$	$10^{-3}$	20	Poliéster	$78,5 \pm 3,5$
$10^{-3}$	$10^{-3}$	20	Algodón con Fixapret CPN	$18,3 \pm 0,6$

**4.3. Resultados de las cantidades de negro de humo depositadas y potenciales zeta respectivos en los tejidos empleados.**

Los valores de las cantidades de negro de humo depositadas y los potenciales zeta sobre los tejidos de algodón, poliéster y poliéster-algodón aprestados y sin aprestar, respecto a la influencia de la concentración de lauril-sulfato sódico (Na DS), se exponen en las tablas III, IV, V y VI. Hay que señalar que todas las soluciones iónicas utilizadas para las mediciones de los potenciales zeta, fueron preparadas en presencia de 20 ml/l de alcohol isopropílico, ya que este producto fue empleado en la dispersión del negro de humo añadido en los lavados.

**TABLA III**  
**Cantidades de negro de humo depositadas y  $\xi$  para los tejidos de algodón poliéster y poliéster-algodón en función de la concentración de Lauril sulfato sódico (Na DS).**

<i>Na DS mol/l.</i>	<i>ALGODON mg/m<sup>2</sup>    <math>\xi</math> (mV)</i>		<i>POLIESTER mg/m<sup>2</sup>    <math>\xi</math> (mV)</i>		<i>POLIESTER-ALGODON mg/m<sup>2</sup>    <math>\xi</math> (mV)</i>	
$10^{-4}$	3,6	9	123,1	60,2	6,9	18,4
$5 \times 10^{-4}$	2,4	13,9	110,9	62	5,9	25,4
$10^{-3}$	2,1	11,6	102,5	63,6	5,5	24,8
$4 \times 10^{-3}$	1,8	16,3	46,7	68,7	4,8	30,6
$8 \times 10^{-3}$	1,9	17,4	13,1	72,5	2,3	31,8
$1,6 \times 10^{-3}$	1,5	22,3	14,2	76,8	2,1	36
$2,4 \times 10^{-3}$	1,2	27,5	19,5	76,3	1,9	40,2

**TABLA IV**

**Cantidades de negro de humo depositadas y  $\xi$  para los tejidos de algodón, poliéster y poliéster-algodón aprestados con Persistol HP, en función de la concentración de Na DS.**

<i>Na DS</i> <i>mol/l.</i>	<i>ALGODON</i> <i>mg/m<sup>2</sup>    <math>\xi</math> (mV)</i>		<i>POLIESTER</i> <i>POLIESTER-ALGODON</i> <i>mg/m<sup>2</sup>    <math>\xi</math> (mV)</i>		<i>mg/m<sup>2</sup>    <math>\xi</math> (mV)</i>	
$10^{-4}$	257,2	47	269,2	47,7	108,4	46,4
$5 \times 10^{-4}$	245,5	46,6	263,1	51,8	86,1	44,3
$10^{-3}$	231,8	49,9	266,1	49,5	82,3	43,3
$4 \times 10^{-3}$	112,2	50,6	158,5	55	68,4	45
$8 \times 10^{-3}$	13,9	53,5	95,5	56,7	12,9	58,4
$1,6 \times 10^{-3}$	6,3	55,4	100	64,8	12,3	65
$2,4 \times 10^{-3}$	4,5	57,6	54,3	69,6	8,4	78,4

**TABLA V**

**Cantidades de negro de humo depositadas y  $\xi$  para los tejidos de algodón, poliéster y poliéster-algodón aprestados con Fixapret CPN, en función de la concentración de Na DS.**

<i>Na DS</i> <i>mol/l.</i>	<i>ALGODON</i> <i>mg/m<sup>2</sup>    <math>\xi</math> (mV)</i>		<i>POLIESTER</i> <i>POLIESTER-ALGODON</i> <i>mg/m<sup>2</sup>    <math>\xi</math> (mV)</i>		<i>mg/m<sup>2</sup>    <math>\xi</math> (mV)</i>	
$10^{-4}$	93,4	23,9	41,2	36,6	25,4	38,8
$5 \times 10^{-4}$	31,6	24,7	33,5	39,8	17,2	37,2
$10^{-3}$	18,2	22,7	23,7	40,3	12,6	41
$4 \times 10^{-3}$	11,6	27,8	13,1	38,4	14,5	41,2
$8 \times 10^{-3}$	10,3	30,8	5,2	41,4	7,3	43,2
$1,6 \times 10^{-3}$	9,4	34,8	3,4	45,3	4,4	47,6
$2,4 \times 10^{-3}$	7,1	32,2	3,2	43,1	4,2	48,8

**TABLA VI**

**Cantidades de negro de humo depositadas y  $\xi$  para los tejidos de algodón, poliéster y poliéster-algodón aprestados con Ultratex FSA, en función de la concentración de Na DS.**

<i>Na DS</i> <i>mol/l.</i>	<i>ALGODON</i> <i>mg/m<sup>2</sup>    <math>\xi</math> (mV)</i>		<i>POLIESTER</i> <i>POLIESTER-ALGODON</i> <i>mg/m<sup>2</sup>    <math>\xi</math> (mV)</i>		<i>mg/m<sup>2</sup>    <math>\xi</math> (mV)</i>	
$10^{-4}$	95,5	18,5	223,9	56,5	65,3	36,2
$5 \times 10^{-4}$	95,5	24,2	177,8	62,2	58,2	40,9
$10^{-3}$	46,3	27,6	147,9	66,2	58,9	42
$4 \times 10^{-3}$	12,3	37,5	103,5	68,9	14,5	46,8
$8 \times 10^{-3}$	4,8	38,9	35,5	74,6	7,1	57,8
$1,6 \times 10^{-3}$	3,9	39,4	27,5	80	5,9	56,8
$2,4 \times 10^{-3}$	4,2	39,2	20,4	80,5	5,6	56,2



Le deposición del negro de humo y los potenciales zeta de los tejidos de algodón, poliéster y poliéster-algodón aprestados y sin aprestar, en presencia de Na DS y del electrolito Na Cl a la concentración de  $10^{-3}M$ , se exponen en las Tablas VII y VIII.

**TABLA VII**

**Deposición del negro de humo y  $\xi$  en presencia de  $10^{-3}M$  Na DS y  $10^{-3}M$  Na Cl.**

Tratamiento tejido	ALGODON		POLIESTER		POLIESTER-ALGODON	
	mg/m <sup>2</sup>	$\xi$ (mV)	mg/m <sup>2</sup>	$\xi$ (mV)	mg/m <sup>2</sup>	$\xi$ (mV)
Sin tratar	5,5	10,4	99,5	65,6	12,9	23,3
Fixapret CPN	25,7	18,3	33,9	37,2	79,4	41,2
Persistol HP	263	45,8	251,8	43,8	112,2	37,6
Ultratex FSA	51,3	21,1	248,3	67,3	64,9	38,3

**TABLA VIII**

**Deposición del negro de humo y  $\xi$  en presencia de  $1.6 \times 10^{-3}M$  de Na DS y  $10^{-3}$  de Na Cl.**

Tratamiento tejido	ALGODON		POLIESTER		POLIESTER-ALGODON	
	mg/m <sup>2</sup>	$\xi$ (mV)	mg/m <sup>2</sup>	$\xi$ (mV)	mg/m <sup>2</sup>	$\xi$ (mV)
Sin tratar	1,9	20,1	17	78,5	5,1	32,5
Fixapret CPN	11	40	5,9	43,9	10	41,2
Persistol HP	11,5	51,8	90	60,8	14,5	62,2
Ultratex FSA	5,5	35,7	37,5	75,6	11,9	50,2

## 5. Discusión

El fenómeno de la deposición o redeposición de impurezas sólidas sobre fibras, viene influenciado por los mismos potenciales que gobiernan la estabilidad de las dispersiones coloidales. H. S. Stillo y R. S. Kolat (7) mencionan los tres tipos de fuerzas siguientes: a) Fuerza eléctrica, que puede ser atractiva o repulsiva y que es debida al fenómeno de la doble capa eléctrica. Como se ha indicado anteriormente es evaluada por el potencial zeta, el cual se determina por métodos electrocinéticos. b) Fuerzas que no están influenciadas por el medio exterior, tales como son: las fuerzas de Van der Waals y las fuerzas de repulsión de Born y c) Fuerzas no eléctricas repulsivas. Cabe indicar que cuanto mayor es la barrera de energía o mayor es el potencial zeta más estable es una dispersión. Cuando ocurre lo contrario, es más inestable y se tiene el fenómeno de la deposición. En la deposición debe tenerse pre-

sente la influencia de los siguientes factores: los tensioactivos, los electrolitos, la agitación, la temperatura, el grado de suciedad y la naturaleza de la fibra. Teniendo en cuenta el objetivo de este trabajo, vamos hacer hincapié en la naturaleza de la fibra, la cual puede ser hidrofílica o hidrófoba, bien por si misma o bien por la aplicación de resinas o polímeros que hayan modificado la naturaleza de su superficie. Todo ello, evidentemente influirá en el potencial zeta, que será característico del sistema de que se trate.

*5.1. Relación entre el potencial zeta y la deposición sobre tejidos de algodón, poliéster y poliéster-algodón sin apresto, en presencia de Lauril sulfato sódico.*

Según los resultados de la Tabla III de las cantidades de negro de humo y los potenciales zeta en función de la concentración de Na DS, para los tejidos de algodón, poliéster y poliéster-algodón, se puede deducir lo siguiente:

Las cantidades de negro de humo depositadas sobre cada uno de los citados tejidos, disminuyen al aumentar la concentración de Na DS. En el poliéster se observa una mayor deposición que en el algodón, presentando el poliéster-algodón un valor intermedio. Este comportamiento es debido a que el poliéster es una fibra más hidrófoba que el algodón y que el poliéster-algodón, lo que motiva su mayor efecto de deposición de impurezas. Así pues, si se considera el cambio de energía libre que acompaña a un proceso de deposición se tiene,

$$\Delta G = \gamma_{FP} - \gamma_{FA} - \gamma_{PA}$$

donde  $\gamma_{FP}$ ,  $\gamma_{FA}$ ,  $\gamma_{PA}$  representan respectivamente las energías interfaciales fibra-partícula de negro de humo, fibra-agua y partícula de negro de humo-agua. Para que exista deposición, habrá un descenso de la energía libre, entonces  $\Delta G < 0$ , es decir

$$\gamma_{FP} - \gamma_{FA} - \gamma_{PA} < 0$$

donde,

$$\gamma_{FA} + \gamma_{PA} > \gamma_{FP}$$

Por tanto, la redeposición se favorece; por los grandes valores de  $\gamma_{FA}$  y  $\gamma_{PA}$  que corresponde a fibras y partículas hidrofóbicas, tal como ocurre en el poliéster y el negro de humo, y bajos valores de  $\gamma_{FP}$  que ocurre también en este caso en que ambos son hidrófobos.

De los resultados experimentales obtenidos, los potenciales zeta para los tres tejidos indicados, se hacen mayores al aumentar la concentración de lauril sulfato sódico. Este comportamiento está de acuerdo con los datos de otros autores para tensioactivos aniónicos (8). El poliéster presenta valores superiores al algodón y el poliéster-algodón tiene valores intermedios.

Tal como se muestra en la figura 2, se ha encontrado una tendencia a la linealidad entre el potencial zeta y el logaritmo de la concentración de negro de humo depositado para las fibras de algodón, poliéster y poliéster-algodón. En esta figura 2, se deduce que al aumentar el potencial zeta disminuye la deposición sobre el tejido. Hecho perfectamente lógico ya que, según se ha indicado, la fibra que presenta una carga negativa en su superficie al ponerse en contacto en la solución del tensioactivo aniónico ensayado y hacerse mayor este potencial, mayor será la repulsión que presentará a las partículas de negro de humo igualmente cargadas con carga negativa según se ha comprobado experimentalmente en un Zeta-Ometer.

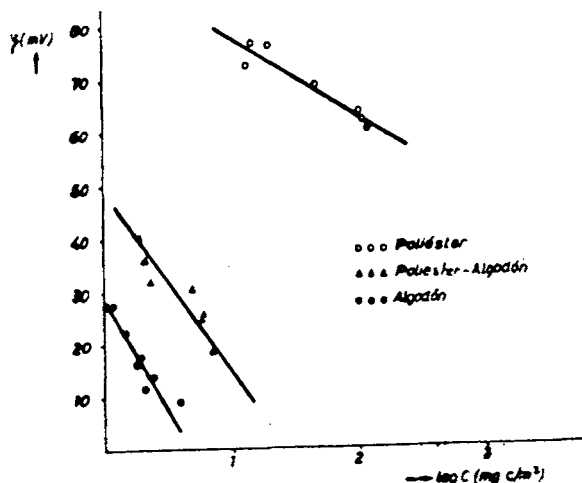


Fig. 3. Relación entre el potencial zeta y el log. de la concentración de negro de humo para los tejidos sin apresto.

Pueden justificarse los valores de  $\xi$  del algodón inferiores a los del poliéster, teniendo en cuenta la diferente naturaleza de esta fibra. Dado que el algodón tiene un carácter más hidrófilo que el poliéster, el agua de hidratación que rodea al catión  $\text{Na}^+$  se incrusta en su superficie más fácilmente. Este hecho provoca que el  $\text{Na}^+$  se encuentre a una mayor distancia de la superficie, o bien que el espesor de la capa de Stern en el algodón sea menor que en el poliéster lo que contribuye a su menor potencial zeta respecto al poliéster.

Analizando las tres linealidades entre  $\xi$  versus logaritmo de la concentración de negro de humo para las tres fibras sin apresto, se tiene que a mayor carácter hidrófobo, caso del poliéster, se tiene mayor potencial zeta y mayor deposición de partículas de negro de humo hidrofóbicas.

#### 5.1.1. Influencia del electrolito Na Cl.

Tal como se aprecia en los resultados de la Tabla VII y VIII, la adición del electrolito Na Cl, para la concentración ensayada presenta un aumento en la cantidad de negro de humo depositado y, en general, un pequeño descenso en el potencial zeta para los tres tejidos. La adición de electrolito, de hecho, ha provocado una compresión en la doble capa eléctrica, lo que ha ocasionado un pequeño descenso del potencial zeta con el consiguiente aumento de la deposición de impurezas de negro de humo.

#### 5.2. Relación entre $\xi$ y la deposición sobre tejidos de algodón, poliéster y poliéster-algodón con apresto, en presencia de Na DS.

Empleando los resultados de las Tablas IV, V y VI se han obtenido los ajustes lineales  $\xi$  versus log. concentración de negro de humo, que se indican en las figuras 4, 5 y 6 que corresponden a los tejidos de algodón, poliéster y poliéster-algodón aprestados, en todos ellos se ha encontrado la misma tendencia hallada en los tejidos sin apresto, es decir, que al aumentar el potencial zeta, con la concentración de Na DS, disminuye la deposición sobre el tejido.

Dado que las concentraciones de las soluciones de tensioactivo Na DS han sido las mismas para los tres tejidos aprestados, se analizó la influencia

de la naturaleza del tejido en las relaciones obtenidas entre  $\xi$  versus  $\log C$ .

#### 5.2.1. Tejido de algodón aprestado.

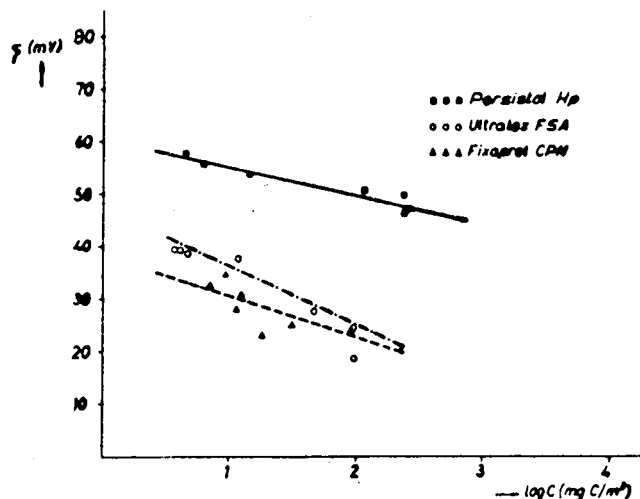


Fig. 4. Relación entre el  $\xi$  y la deposición para el algodón aprestado.

Si comparamos los valores del potencial  $\xi$  y de la deposición de la impureza en el algodón tratado con los tres aprestos, observamos (Fig. 4) que el Persistol HP, presenta mayores valores de  $\xi$  y de deposición, lo cual puede deducirse, de acuerdo a lo expuesto anteriormente, que dará a la superficie de la fibra mayor carácter hidrófobo, lo cual cabe esperar por la cadena alquílica que presenta en su estructura. Por otro lado, el Ultratex FSA y el Fixapret CPN, muestran unos valores intermedios de  $\xi$  y de deposición entre el anterior apresto Persistol HP y la fibra sin tratar, manteniéndose el Ultratex FSA por encima del Fixapret CPN, en los valores de  $\xi$ . Esto hace suponer un carácter hidrófobo intermedio, entre el algodón y el algodón con Persistol HP, tal como cabe esperar según sus estructuras químicas.

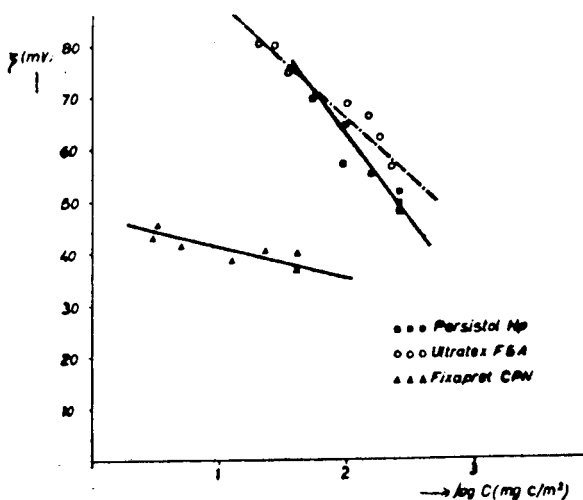


Fig. 5. Relación entre el  $\xi$  y la deposición para el poliéster aprestado.

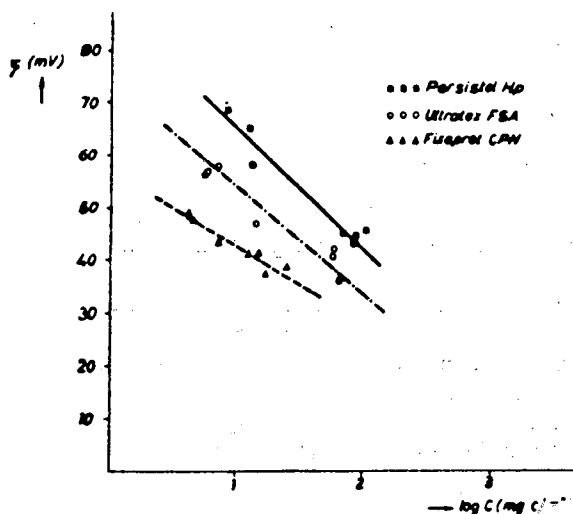


Fig. 6. Relación entre el  $\xi$  y la deposición para el poliéster-algodón aprestado.

La fibra de poliéster continuará teniendo su carácter hidrófobo en presencia de los aprestos Persistol HP y Ultratex FSA, tal como se aprecia en la Figura 5, donde los puntos que relacionan  $\xi$  con  $\log C$  se presentan bastante cercanos al poliéster sin apresto (Fig. 3). Lo cual parece deducirse que el elevado carácter hidrófobo de la fibra de poliéster, queda modificado muy poco por la presencia de aquellos aprestos. En la indicada Figura 5, se puede observar que el poliéster tratado con Fixapret CPN, tiene valores de  $\xi$  y de deposición inferiores a los anteriores aprestos, por lo que suponemos posee un cierto carácter hidrofílico, lógico de su estructura química, dada la aportación de grupos hidroxilos a la superficie.

### 5.2.3. Tejidos de poliéster-algodón aprestados.

En la figura 6, todos los tejidos aprestados han dado valores superiores de  $\xi$  y de la deposición, en relación al tejido sin aprestar. El tejido de poliéster-algodón aprestado con Persistol HP, es el que da valores de potencial  $\xi$  y de deposición superiores, por lo que cabe deducir su mayor carácter hidrófugo, respecto a los otros tratamientos.

Análogamente a lo observado para el algodón y el poliéster, el apresto realizado con Fixapret CPN da valores inferiores, lo cual reafirma su menor carácter hidrófobo. El apresto Ultratex FSA da un valor intermedio.

### 5.2.4. Influencia del electrolito NaCl.

Los resultados de la Tabla VIII permiten apreciar el comportamiento general de que, un aumento de la concentración de tensioactivo Na<sub>2</sub>DS, disminuye la deposición y va paralelo con un aumento del potencial zeta. En comparación con las pruebas efectuadas sin electrolito, se aprecia que se obtienen valores de deposición superiores y potenciales zeta algo inferiores para los tres tejidos. La compresión de la doble capa eléctrica provocada por

el electrolito anteriormente citada, trae como consecuencia la obtención de los resultados indicados.

## 6. Conclusiones

Para los tejidos de algodón, poliéster y poliéster-algodón cabe indicar lo siguiente:

1.º) Una linealidad entre el grado de ensuciamiento y el logaritmo de la concentración de negro de humo, ha permitido valorar la deposición sobre los tejidos.

2.º) Las cantidades de negro de humo depositadas sobre los anteriores tejidos disminuyen al aumentar la concentración de Na DS. En el poliéster se observa una mayor deposición que en el algodón, presentando el poliéster-algodón un valor intermedio. Se ha justificado esto por el hecho de su diferente hidrofobicidad. Teniendo presente que la deposición viene favorecida por grandes valores de  $\gamma_{FA}$  y  $\gamma_{PA}$  (fibras hidrofóbicas) y valores bajos de  $\gamma_{FA}$ , caso de fibra y partícula (negro de humo) hidrofóbicas.

3.º) Los potenciales zeta para los tres tejidos indicados se hicieron mayores al aumentar la concentración de tensioactivo aniónico.

4.º) Se encontró una tendencia a la linealidad entre el potencial zeta y el log. de la concentración de negro de humo depositado.

5.º) Al aumentar el potencial zeta se ha encontrado disminución de la deposición sobre el tejido, tanto para tejidos aprestados como sin aprestar. Esto se ha justificado por la mayor repulsión existente entre fibra y partícula.

6.º) Se ha justificado el diferente potencial zeta entre fibras hidrofóbicas e hidrofílicas, como consecuencia de la diferente adsorción del agua de hidratación del  $Na^+$ .

7.º) A partir de las linealidades entre  $\xi$  versus log. de la concentración de negro de humo, se ha indicado que un mayor carácter hidrófobo, (caso poliéster), viene acompañado por un aumento de potencial zeta y mayor deposición.

8.º) El electrolito añadido ha provocado compresión de la doble capa eléctrica con un pequeño descenso del potencial zeta y un aumento de la deposición de impurezas, tanto en los tejidos aprestados como si aprestar.

9.º) Todos los aprestos hacen más hidrófugo al algodón, siendo el de mayor carácter hidrófugo el Persistol HP, seguido del Ultratex FSA y del Fixapret CPN. Todos los aprestos dan mayores valores de  $\xi$  y de deposición respecto al algodón.

10.º) El elevado carácter hidrófobo de la fibra de poliéster queda poco modificada por la presencia de los aprestos Persistol HP y Ultratex FSA, dando un carácter menos hidrofóbico el Fixapret CPN.

11.º) El tejido de poliéster-algodón aprestado ha dado un carácter más hidrófobo que el tejido sin aprestar. La hidrofobicidad hallada es mayor con el Persistol HP, intermedia con el Ultratex FSA y menor con el Fixapret CPN.

## Agradecimiento

Se agradece la Beca por un año concedida por la «Asociación de Investigación de la Industria Española de Detergentes Tensioactivos y Afines» concedida al I.I.T. y C.I. de Terrassa, para la propuesta de un Proyecto, lo cual ha ayudado a la realización de este trabajo. Se agradece también, a la señorita M.ª Mercedes Simó, la ayuda en buena parte de la labor experimental.

## BIBLIOGRAFIA

- (1) Verwey E. J. W. y Overbeek J. Th. — Theory of the Stability of Lyophobic Colloids. Ed. Elsevier. Amsterdam (1948).
- (2) Derjaguin B. V. y Landau L. D. Acta Physichim. U.R.S.S. 14, 663 y Derjaguin D. V. Trans Faraday Soc, 36, 730 (1940).
- (3) Shaw D. J. — Introduction to Colloid and Surface Chemistry 2nd. ed. London Butterworths (1970).
- (4) Carrión J. F. — XII Jornadas C.E.D./A.I.D. Feb. 1981. Barcelona.
- (5) Androsov V. F. y Liverant V. L. — Tech. Textile Industry. U.R.S.S. 3, 98-100 (1966).
- (6) Florio F. A. y Merserau E. P. — Tex. Res. J. 25, 611-649 (1955).
- (7) Stillo H. S. y Kolat R. S. — Tex. Res. J. 27, 949-952 (1957).
- (8) Rose G. R. F., Weatherburn A. S. y Baley C. H. — Tex. Res. J. 21, 427-431 (1951).